

УДК 621.791

С.М. Шанчуров
(S.M. Shanchurov)

УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

А.В. Иванайский
(A.V. Ivanayskiy)

МГОУ, Москва
(MGOU, Moscow)

В.В. Иванайский, А.М. Ишков
(V.V. Ivanayskiy, A.M. Ishkov)

АлтГАУ, Барнаул
(AltGAU, Barnaul)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ИНДУКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
(INDUCTION HARDENING PROCESSES MODELING
OF MACHINERY PARTS)**

Разработана модель индукционного упрочнения деталей машин. Модель позволяет оценить его производительность, качество наплавленного слоя, расход энергии от внешнего источника, выделение тепла в нагреваемых частях и их элементах.

Induction hardening model of machinery parts was developed. The model allows to evaluate its productivity, quality of built-up layer, power consumption from an external power source, heat emission in heated parts and their elements.

Количество рабочих органов, устанавливаемых на сельскохозяйственные машины различных типов и назначений, насчитывает более 600 наименований, которым необходимо упрочнения лезвийной поверхности. Выбор технологических параметров при индукционной наплавке, и, в частности, других методов упрочнения, требует проведения большого объема экспериментальной работы при высоких температурах. Численный эксперимент на ПК при наличии математической модели процесса в значительной мере позволяет сократить объем экспериментальных работ, проводимых с целью определения оптимальных параметров индукционной наплавки. Разработка математической модели процесса индукционной наплавки позволяет оптимизировать режимы наплавки и создать новые технологии, а также расширить номенклатуру наплавливаемых деталей [1].

Алгоритм расчета электротепловых процессов в модели при известном начальном распределении температуры заключается в следующем:

1) исходя из имеющегося температурного поля, находят удельное электрическое сопротивление и магнитную проницаемость в каждом дискретном элементе области загрузки;

2) исходя из положения деталей, определяем распределение тепловых источников в них по длине индуктора;

3) для каждого дискретного элемента загрузки определяем функции внутренних тепловых источников и вычисляем температурное поле на текущем временном слое, определяемом шагом по времени;

4) исходя из принятого закона перемещения изделий, фиксируем расположение деталей относительно индуктора на следующем временном слое;

5) если критерии окончания процесса, определяемые технологом, например, достижение в заданной точке максимальной температуры, не удовлетворены, то происходит переход к первому пункту. В противном случае процесс вычислений прекращается.

Для каждого элемента считаем, что его магнитная проницаемость μ и удельное электрическое сопротивление s постоянны во всех точках на данном временном слое. Такое допущение можно обосновать тем, что глубина проникновения тока для стальных деталей на применяемых частотах не превышает 2–3 мм. В пределах этих величин изменение электрофизических свойств по глубине незначительно.

Частота тока в индукторе может быть принята постоянной для данного технологического процесса. Переменные s и μ должны на каждом временном слое определяться заново. Таким образом, функция глубины проникновения упростится и примет вид $\Delta(s, \mu)$. Для часто встречающегося на практике случая, когда глубина проникновения тока в материал детали меньше ее толщины более чем в 2–2,5 раза, могут быть применены формулы для плоской электромагнитной волны, падающей на полуограниченное металлическое тело с плоской поверхности [2].

Для расчета температурного поля в дискретных элементах области загрузки решали третью краевую задачу теплопроводности для гомогенной изотропной среды.

Задача может быть решена методом разделения переменных путем представления искомого решения в виде ряда Фурье по собственным функциям задачи Штурма–Лиувилля с граничными условиями III рода [3, 4].

Связь электромагнитного поля с температурным полем обусловлена зависимостью удельного сопротивления и магнитной проницаемости от температуры. Эта связь в модели поддерживается специальным порядком построения функций источников.

В рассматриваемой модели технологического процесса при решении тепловой части задачи существует и возможность учета влияния аллотропических превращений, происходящих в стали в процессе нагрева.

Это можно сделать специальным выбором функций источников на каждом временном слое. Влияние аллотропических превращений на изменение глубины проникновения тока и на зависимость удельной мощности от напряжения на индукторе учитывается в электрической части задачи при проведении расчета индуктора. Расчет самого индуктора в данной работе не рассматривается.

Результаты расчетов показали, что предлагаемая модель процесса индукционного упрочнения деталей сельскохозяйственных машин позволяет оценивать его: производительность, качество наплавленного слоя, потребление энергии от внешнего источника питания, выделение тепла в нагреваемых деталях и их элементах, что позволяет подбором управляемых технологических параметров оптимизировать процесс.

Анализ расчетных и экспериментальных данных показал, что для рассматриваемого случая индукционного упрочнения плоской стрелчатой лапы культиватора С.1.7 сплавом ПС-14-60 предложенная модель адекватно описывает температурные поля на поверхности детали, отклонение расчетных и экспериментальных значений технологических параметров не превышает 10–15 %.

Предлагаемая модель может применяться и при разработке других технологических процессов индукционного упрочнения, например, лемехов, стрелчатых лап, ножей, дисков, долот и пр.

Библиографический список

1. Лапы и стойки культиваторов. Общие технические требования / ОСТ 23.2.164-87. 41 с.
2. Немков, В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С. Немков, В.Б. Демидович. Л.: Энергоиздат; Ленинградское отд-ние, 1988. 375 с.
3. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел: учеб. пособие / Э.М. Карташов. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1985. 155 с.
4. Тимошенко, В.П. Измерение тока индуктора при индукционной наплавке / В.П. Тимошенко, В.В. Иванайский, О.И. Хомутов // Ползуновский вестник. 2012. № 1/1. С. 91–95.